

레졸버 형상 변화에 따른 각도정보 선형성 분석

류동석*, 성기용*, 황수진*, 황점광*, 김민규*, 김기찬*, 김운현*
한밭대학교*

A Study of Linearity for Angle Information according to Resolver Shape

Dong-Seok Ryu*, Ki-Young Sung*, Su-Jin Hwang*, Zhan-Hong Huang*, Min-Gyu Kim*, Ki-Chan Kim*, Youn-Hyun Kim*
Hanbat National University*

Abstract - Variable Reluctance(VR) 레졸버는 엔코더를 대신해 Hybrid Electric Vehicle (HEV) / Electrical Vehicle(EV) 및 자동차 산업 전반에서 위치센서로써 사용되고 있다. VR 레졸버는 두 개의 출력신호(SIN, COS)를 발생시키며, Resolver-to-Digital Convert(RDC) 알고리즘을 통하여 위치신호로써 변환된다.

위치센서로써의 VR 레졸버는 무엇보다도 회전자의 정확한 위치를 찾아내는 것이 중요하다. 위치 정보의 오류를 발생시키는 원인으로서는 다양한 것들이 있다. 본 논문에서는 VR 레졸버 형상을 변화시킴으로써 인해 레졸버를 통해 나온 출력신호에 포함된 각도정보의 정밀도 향상을 위해 FEM 해석을 통해 연구 및 분석 하였다.

1. 서 론

최근 들어 VR 레졸버는 자동차 산업 및 특히 HEV / EV와 같은 다양한 산업 전반에서 위치센서로써 사용되고 있다.^[1] VR 레졸버는 고정자와 회전자, 권선의 구조만 갖는 간단한 구조로 되어 있으며, 모터와의 탈부착이 용이하고, 브러쉬와 슬립링 같은 추가적인 장비를 필요로 하지 않는다. 또한 엔코더에 비해 위치 정보에 대한 높은 정확도를 나타낼 수 있으며, 가혹한 산업 환경에서의 다양한 특성면에서 우수하기 때문에 많이 사용된다.^[2]

위치센서로써 무엇보다 중요한 것은 각도의 정밀도이다. HEV / EV 같은 경우 잘못된 각도 정보의 오류는 드라이버의 생명까지 위협할 수도 있기 때문이다. 각도의 정밀도 저해 요인으로는 많은 요인이 있다.^[3]

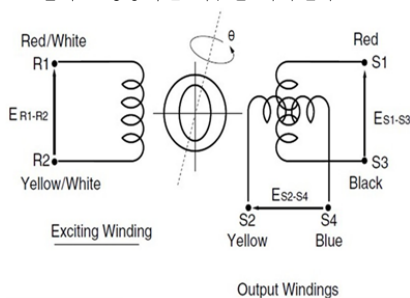
- 1) 기계적인 탈부착에서의 오류(고정자 및 회전자의 편심)
- 2) 전기적인 권선의 단선
- 3) 제질상에서의 자계의 불균형

VR 레졸버의 출력파형은 각도에 대한 정보를 포함하고 있다. 설계의 관점에서 각도정보에 대한 정밀도 향상이란 곧 출력파형의 질 높은 각도 정보의 함유를 요구하는 것이다.^[4] 물론 VR 레졸버의 출력파형을 각도정보로 변환하는 RDC 알고리즘의 부분 역시 중요하다. 그러나 본 논문에서는 RDC 이전의 VR 레졸버 출력파형의 질 높은 각도 정보를 위해 FEM 해석을 통해 회전자의 형태를 변화시켜 최적화 시킴으로써 정밀도 향상에 대해 연구 및 분석하였다.

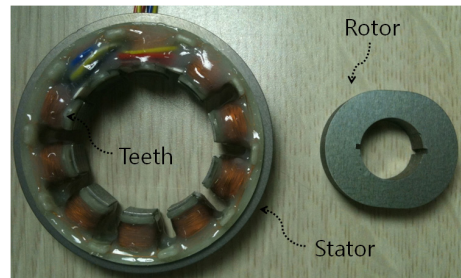
2. Interface System

2.1 Variable Reluctance(VR) 레졸버

VR 레졸버는 회전자가 회전함에 따라 위치에 따른 정현적인 SIN 파형을 출력시키는 회전 변압기이다. VR 레졸버는 고정자와 회전자, 권선으로 이루어져 있으며, 이러한 구성은 그림 1의 개념도를 통해 살펴볼 수 있다. 그림 2는 실제로 상용화된 제품을 나타낸다.



〈그림 1〉 VR 레졸버의 개념도

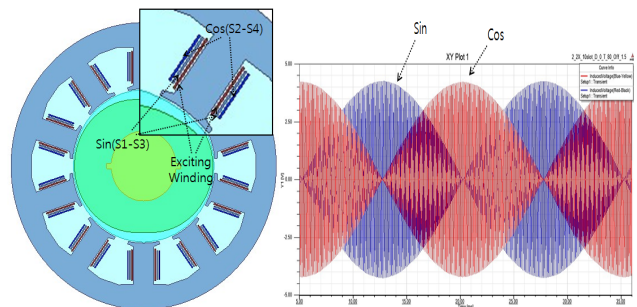


〈그림 2〉 VR 레졸버

권선은 고정자에만 감겨져 있으며, 1차권선(Exciting winding)과 2차권선(SIN, COS)의 형태로 구성되어 있다. 1차권선에서 1kHz~10kHz의 주파수 영역을 갖는 AC 전압이 인가되면, 2차권선에는 2개의 출력파형이 나타난다. 2차권선에서는 전기적으로 90°의 위상차를 갖도록 권선을 설계함으로써 SIN, COS의 형태를 갖는 출력파형이 나타나게 된다. 식 (1), (2)는 VR레졸버에서 변조된 SIN, COS을 나타내며, 그림 (3)은 FEM 해석 모델과 그 모델의 해석된 출력파형의 형태를 확인할 수 있다.

$$S1 - S3 = E_o \sin \omega t \times \sin \theta \quad (1)$$

$$S2 - S4 = E_o \sin \omega t \times \cos \theta \quad (2)$$



〈그림 3〉 FEM 해석을 통한 VR 레졸버 출력파형

2.2 Resolver-to-Digital Converter(RDC)

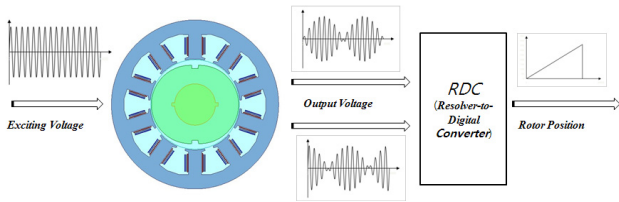
VR 레졸버의 출력파형은 각도정보(θ)가 포함되어 있는 2개의 출력파형(SIN, COS)이 나타나게 된다. 식(3), (4)는 RDC 알고리즘에 대해 나타내고 있다.^[5]

$$E_o \sin \omega t \times \sin \theta \times \cos \phi \quad (3)$$

$$E_o \sin \omega t \times \cos \theta \times \sin \phi \quad (4)$$

변조된 신호에 임의의 각(ϕ)를 곱해서 신호를 복조함으로써 회전자의 각도정보(θ)를 얻을 수 있다. 즉, 식(5)에서 볼 수 있듯이 $\theta - \phi = 0$ 이 되는 지점을 찾아감으로써 회전자의 위치를 알 수 있게 되는 것이다.

$$E_o \sin \omega t \times (\sin \theta \times \cos \phi - \cos \theta \times \sin \phi) = E_o \sin \omega t \times (\sin \theta - \phi) \quad (5)$$

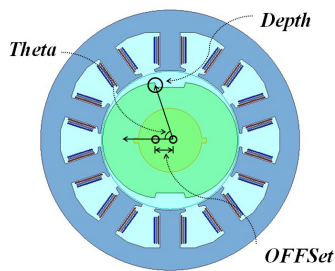


〈그림 4〉 RDC 인터페이스

3. FEM 해석을 통한 선형성 분석

3.1 레졸버 형상 변화 방법

VR 레졸버의 회전자를 변화시키기 위해 먼저 3가지의 변수(Depth, Theta, OFFSet)를 선정하였다. 이 3가지 변수에 대한 정의는 그림 5에서 확인할 수 있다. 또한 각각의 변수에 대한 수치 변화도 3개의 수준으로 선정하였으며, 변수들에 대한 3개의 수준은 표 1에 나타내었다. 각각의 변수들의 변화에 따라 FEM 해석을 통해 해석해 봄으로써 각도의 선형성 및 VR 레졸버의 출력파형의 크기에 대해 분석하였다.



〈그림 5〉 변수에 대한 정의

〈표 1〉 3가지 변수에 대한 3가지 수준

Variable	Unit	수준
Depth	[mm]	0, 0.5, 1
Theta	[°]	75, 80, 85
OFFSet	[mm]	1, 1.5, 2

3.2 각도의 선형성 분석 및 출력 파형의 분석

각각의 변수들의 3수준에 따라 총 9개 모델을 해석하였다. 표 2에서는 변수들의 수준과 그에 따른 각도 오차율에 대한 값을 나타냈으며, 같은 RDC 알고리즘 상에서의 오차를 분포를 확인할 수 있다. 각도의 오차율은 0.5[°]~3[°]까지의 오차가 나타나는 것을 확인할 수 있으며, No.2 번째 모델이 0.512[°]로 위치정보에 대한 신뢰도가 가장 높은 것을 볼 수 있다.

같은 인가 전압의 조건에서 VR 레졸버의 출력파형의 크기 역시 매우 중요하다. 출력파형의 크기는 권선의 턴수에 영향을 주기 때문이다. 출력파형의 전압레벨이 높으면 그만큼 적은 턴수로써 같은 전압레벨을 설계할 수 있기 때문이다. 즉, VR 레졸버를 제작함에 있어 적은 비용으로 같은 효과를 나타낼 수 있기 때문에 경제적인 측면에서 매우 유리하기 때문이다. 표 3에서는 변수에 따른 각각의 모델에 대한 VR 레졸버의 출력파형의 크기를 나타내고 있으며, No.7 번째 모델의 출력파형의 크기가 가장 크다는 것을 확인할 수 있다.

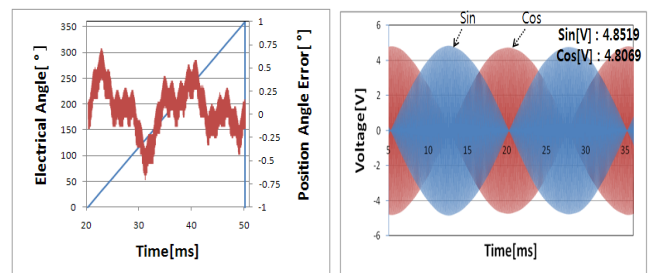
〈표 2〉 각각의 변수에 따른 각도의 오차율

No.	Variable	각도 오차율[°]
1	Depth:0[mm], Theta:75[°], OFFSet:1[mm]	1.376
2	Depth:0[mm], Theta:80[°], OFFSet:1.5[mm]	0.512
3	Depth:0[mm], Theta:85[°], OFFSet:2[mm]	1.208
4	Depth:0.5[mm], Theta:75[°], OFFSet:1.5[mm]	1.352
5	Depth:0.5[mm], Theta:80[°], OFFSet:2[mm]	0.6
6	Depth:0.5[mm], Theta:85[°], OFFSet:1[mm]	1.612
7	Depth:1[mm], Theta:75[°], OFFSet:2[mm]	0.712
8	Depth:1[mm], Theta:80[°], OFFSet:1[mm]	3.084
9	Depth:1[mm], Theta:85[°], OFFSet:1.5[mm]	0.684

〈표 3〉 각각의 변수에 따른 출력 파형의 크기

No.	Variable	Sin[V]	Cos[V]
1	Depth:0[mm], Theta:75[°], OFFSet:1[mm]	3.7632	3.7319
2	Depth:0[mm], Theta:80[°], OFFSet:1.5[mm]	4.2534	4.2141
3	Depth:0[mm], Theta:85[°], OFFSet:2[mm]	4.6679	4.6254
4	Depth:0.5[mm], Theta:75[°], OFFSet:1.5[mm]	4.516	4.4735
5	Depth:0.5[mm], Theta:80[°], OFFSet:2[mm]	4.7139	4.6712
6	Depth:0.5[mm], Theta:85[°], OFFSet:1[mm]	3.7029	3.6678
7	Depth:1[mm], Theta:75[°], OFFSet:2[mm]	4.8519	4.8069
8	Depth:1[mm], Theta:80[°], OFFSet:1[mm]	3.9892	3.9504
9	Depth:1[mm], Theta:85[°], OFFSet:1.5[mm]	4.3244	4.2848

각각의 변수들의 수준에 따른 FEM 해석을 통한 결과를 바탕으로 표 2와 표 3을 비교해 보면, 신뢰성이나 가격적인 측면에서 가장 적당한 모델을 선정할 수 있다. No. 7번째 모델을 살펴보면 No. 2번째의 모델 보다 신뢰성 측면에서 각도 오차는 조금 떨어지지만 출력파형의 크기면에서 이점을 보인다. 그림 6에서는 No. 7번째 모델에 관한 각도의 선형성 및 오차율과 FEM 해석을 통한 출력파형의 크기를 나타내었다.



〈그림 6〉 변수에 대한 정의

4. 결 론

VR 레졸버의 출력파형(SIN, COS)에 포함된 각도정보(θ)는 매우 중요하다. 각도정보의 오차율은 VR 레졸버를 통해 출력되는 신호에 담겨진 각도정보의 수준에 따라 정밀도에 영향을 미치기 때문이다.

본 논문에서는 VR 레졸버의 회전자에 대해 3가지 변수를 선정 한 후, 2개의 아날로그 신호에 담겨진 각도정보의 정밀도 향상을 위해 노력하였다. 또한, 각각의 변수가 변화함에 따른 VR 레졸버 출력파형의 크기도 확인할 수 있다. 출력신호의 크기가 클수록 제작하는 과정에서 비용적인 측면에서 매우 경제적인 이점을 가지기 때문이다. 이러한 변수들의 변화 모델을 FEM 해석을 통해 각각의 각도 오차율을 비교해 회전자의 형태를 최적화시킴으로써 위치 정보에 대한 신뢰성을 향상시킬 수 있으며, 출력신호의 크기를 비교해 봄으로써 경제적인 이점에서의 장점을 확인할 수 있다.

[감사의 글]

본 연구는 지식경제부(MKE, 한국)의 산업 전략적 기술 개발 프로그램(10035467, 그린카 모터용 레졸버 국산화 개발)에 의해 지원되었습니다.

[참고 문헌]

- [1] K. C. Kim, C. S. Jin, and J. Lee, "Magnetic shield design between interior permanent magnet synchronous motor and sensor for hybrid electric vehicle," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 45, pp. 2835-2838, 2009
- [2] Lizhi Sun, "Analysis and Improvement on the Structure of Variable Reluctance Resolvers," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 44, pp. 2002-2008, 2008
- [3] Ki-Chan Kim, Su-Jin Hwang, and Ki-Young Sung, "A Study on the Fault Diagnosis Analysis of Variable Reluctance Resolver for Electric Vehicle," *IEEE SENSORS 2010*, pp. 290-295, 2010
- [4] C. Attianese, G. Tomasso, and D. De Bonis, "A low-cost resolver-to-digital converter," in *proc. IEEE-Int. Elect. Mach. Drives Conf.*, vol. 1, pp. 917-921, 2001
- [5] Analog Deivce, "Variable Resolution, 10-Bit to 16-Bit R/D Converter With Reference Oscillator", pp. 15-16